

T S4/5/1

4/5/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI

(c) 2005 Thomson Derwent. All rts. reserv.

012310779 **Image available**

WPI Acc No: 1999-116885/199910

XRPX Acc No: N99-086473

Ultraviolet laser apparatus for lens aberration measuring apparatus of ArF exposure machine - has non-linear optical crystal arranged in optical path shared by two pairs of reflective mirrors

Patent Assignee: NIKON CORP (NIKR)

Inventor: OHTSUKI T; OWA S

Number of Countries: 002 Number of Patents: 003

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 10341054	A	19981222	JP 97152394	A	19970610	199910 B
US 6088379	A	20000711	US 9894210	A	19980609	200037
JP 3514073	B2	20040331	JP 97152394	A	19970610	200423

Priority Applications (No Type Date): JP 97152394 A 19970610

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 10341054	A		11	H01S-003/108	
US 6088379	A			H01S-003/082	
JP 3514073	B2		11	H01S-003/108	Previous Publ. patent JP 10341054

Abstract (Basic): JP 10341054 A

NOVELTY - A pair of resonators (22,24) constitute respective pair of reflective mirrors (221,222,241,242). The resonators resonate a pair of light sources (21,23), so as to emit laser light beams. The reflective mirrors (221,222) share the optical path of the mirrors (241,242). A non-linear optical crystal (26) is arranged in the shared optical path of the reflective mirrors (221,222).

USE - For lens aberration measuring apparatus of ArF exposure machine used in semiconductor manufacture.

ADVANTAGE - The wavefront aberrational measurement is made simple.
DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The diagram shows the structure of ultraviolet laser apparatus. (22,24) resonators; (26) Non-linear optical crystal; (221,222,241,242) Reflective mirrors.

Dwg.2/8

Title Terms: ULTRAVIOLET; LASER; APPARATUS; LENS; MEASURE; APPARATUS;
EXPOSE; MACHINE; NON; LINEAR; OPTICAL; CRYSTAL; ARRANGE; OPTICAL; PATH;
SHARE; TWO; PAIR; REFLECT; MIRROR

Derwent Class: P81; P84; U11; V07; V08

International Patent Class (Main): H01S-003/082; H01S-003/108

International Patent Class (Additional): G01M-011/02; G02F-001/37;

G03F-007/20; H01L-021/027; H01S-003/16

File Segment: EPI; EngPI

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-341054

(43) 公開日 平成10年(1998)12月22日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I
H 0 1 S 3/108		H 0 1 S 3/108
G 0 2 F 1/37		G 0 2 F 1/37
G 0 3 F 7/20	5 0 5	G 0 3 F 7/20 5 0 5
H 0 1 L 21/027		H 0 1 S 3/16
H 0 1 S 3/16		H 0 1 L 21/30 5 1 5 B
審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 11 頁)		

(21) 出願番号 特願平9-152394

(22) 出願日 平成9年(1997)6月10日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 大和 壮一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 大槻 朋子

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 弁理士 三品 岩男 (外1名)

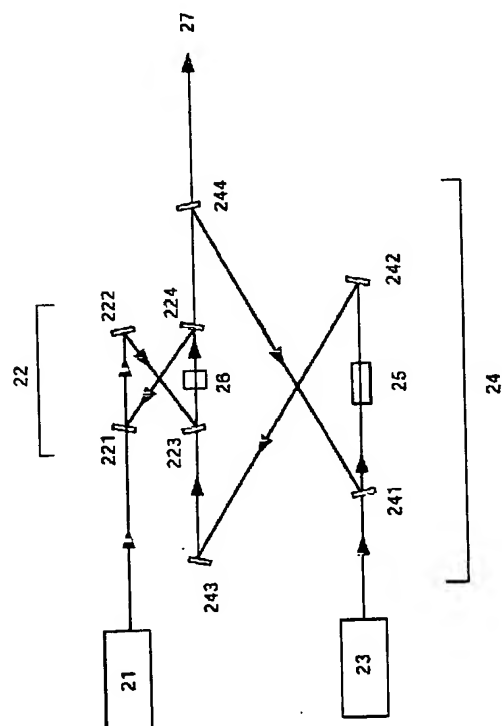
(54) 【発明の名称】 紫外レーザ装置及び半導体露光装置

(57) 【要約】

【課題】 時間コヒーレンスおよび空間コヒーレンスの高い、しかも大出力の193nmあるいはその近傍波長のレーザ光を発生する紫外レーザ装置を実現すると共に、該紫外レーザ装置を光源として用いてレンズ波面収差測定を行うフィゾー干渉計を提供する。

【解決手段】 500nm付近の連続波を発生する第1のレーザ23、266nmの連続波を発生する第2のレーザ21、チタンサファイヤ結晶を含む第1の共振器24、および、和周波発生のための第2の共振器22を備え、これら共振器24、22の光路中において反射鏡223と反射鏡224との間の光路を両共振器間で共有させ、その中に和周波発生のための非線形光学結晶BBO (β -BaB₂O₄) を配置することによって、193nmの出力光27を得る。

図2



【特許請求の範囲】

【請求項1】和周波発生を行う紫外レーザ装置において、
 第1のレーザ光を発生させる第1のレーザ光発生源および該第1のレーザ光を共振させる第1の共振器と、
 第2のレーザ光を発生させる第2のレーザ光発生源および該第2のレーザ光を共振させる第2の共振器とを備え、
 前記第1および第2の共振器は、一部の光路が共有配置されるものであって、該共有光路中に設置される和周波発生のための非線形光学結晶を備えることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項2】請求項1に記載の紫外レーザ装置において、
 前記第1のレーザ光発生源として、650nmから1100nm付近のレーザ光を発生するチタン・サファイアレーザを用い、
 前記第2のレーザ光発生源として、260nm付近のレーザ光を少なくとも発生する希土類イオンを含む固体レーザを用い、
 前記和周波発生により、180nmから215nm付近のレーザ光を発生させることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項3】請求項2に記載の紫外レーザ装置において、
 前記チタン・サファイアレーザの波長を707nm付近とし、
 前記第2のレーザ光としてNd固体レーザを用い、該Nd固体レーザが発する1064nm付近のレーザ光から発生させた4倍波の266nm付近のレーザ光を用い、
 前記和周波発生によりArFレーザと同じ波長の193nmから194nm付近の連続レーザ光を発生させることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項4】請求項1に記載の紫外レーザ装置において、
 前記第1のレーザとして1064nm付近を発生するNd固体レーザを用い、
 前記第2のレーザとしてNd固体レーザを用い、該Nd固体レーザが発する1064nm付近のレーザ光から発生させた4倍波の266nm付近のレーザ光を用い、
 前記和周波発生により213nmのレーザ光を発生させることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項5】請求項1乃至4のいずれかに記載の紫外レーザ装置において、
 前記非線形光学結晶として、 β -BaB₂O₄を用いることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項6】請求項1乃至4のいずれかに記載の紫外レーザ装置において、
 前記非線形光学結晶として、Sr₂Be₂B₂O₇またはKBe₂B₃O₂を用いることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項7】波長650nmから1100nmの連続光を循環す

る、チタン・サファイアレーザのリング共振器中に第1の非線形光学結晶を配置し、325nmから550nmのレーザ光を発生させ、
 前記発生したレーザ光を前記リング共振器外にとり出した後、325nmから550nmの波長の連続光に共鳴し、該連続光を循環させる第2の共振器へ入射させ、
 前記第2の共振器中に置いた第2の非線形光学結晶によって、162nmから225nm付近の連続光を発生させることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項8】波長772nm付近の連続光を循環するチタン・サファイアレーザのリング共振器中に第1の非線形光学結晶を配置して、386nm付近のレーザ光を発生させ、
 前記386nm付近の連続光を前記リング共振器外にとり出した後、386nm付近の波長の連続光に共鳴し該連続光を循環させる第2の共振器へ入射させ、
 前記第2の共振器中に設けた第2の非線形光学結晶によって、ArFレーザと同じ波長の193nm付近の連続光を発生させることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項9】請求項7または8に記載の紫外レーザ装置において、
 前記第1の非線形光学結晶として、LiB₃O₅を用いることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項10】請求項7または8に記載の紫外レーザ装置において、
 前記第2の非線形光学結晶として、 β -BaB₂O₄、Sr₂Be₂B₂O₇およびKBe₂B₃O₂のうちいずれかを用いることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項11】被測定レンズの収差測定を行うレンズ収差測定装置において、
 測定用レーザ光を発生するレーザ光源と、
 前記レーザ光源からのレーザ光の一部を参照光とし、他の一部を被測定レンズを透過させて測定光とし、これら測定光および参照光を干渉させるための光学系とを備え、
 前記レーザ光源として、請求項1乃至10のいずれかに記載の紫外レーザ装置を用いることを特徴とするレンズ収差測定装置。

【請求項12】マスク上に形成された所定のパターンをウエーハに投影するための半導体製造用露光装置において、
 レーザ光を発生するレーザ光源と、
 前記マスク上のパターンが投影されるように、前記レーザ光源で発生されたレーザ光を前記マスクに照射させて、前記マスクの像を前記ウエーハへ導く光学系とを備え、
 前記レーザ光源として、請求項1乃至10のいずれかに記載の紫外レーザ装置を用いることを特徴とする半導体製造用露光装置。

【請求項13】請求項1乃至10のいずれかに記載の紫外レーザ装置において、

前記2つのレーザ光のうち少なくとも一方の波長変化に連動させて、前記和周波発生のための非線形光学結晶の位相整合角を変化させる位相整合角変化手段をさらに備えることを特徴とする紫外レーザ装置。

【請求項14】請求項13に記載の紫外レーザ装置において、

前記和周波発生されたレーザ光の強度を検出する検出手段をさらに備え、

前記波長変化するレーザ光はチタン・サファイアレーザから発生され、

前記位相整合角変化手段は、前記検出手段の検出結果に応じて微調整されることを特徴とする紫外レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体製造のための露光システムに係わり、特に、ArF露光機のレンズ収差測定装置のための光源、あるいは、露光機（ステッパー）の光源として使用可能な紫外レーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路製造における集積度向上のためには、露光機に用いる光源の波長を短くする必要がある。そのため、将来の露光機として、ArFレーザの発する193nm光を利用する露光機の開発が行われてきた。

【0003】【従来の波面収差測定器の光源】ArF露光機を開発するにあたって、レンズの収差測定を行う際に、干渉計による波面収差測定装置が有用である。

【0004】ここで使われる代表的な干渉計として、フィゾー型（図5）または、トワイマン・グリーン型の干渉計がある。

【0005】フィゾー型とは、被測定レンズ55の直前に、光の伝搬方向と垂直に、参照面となるハーフミラー54を置いて、一部を垂直に反射させ、参照光をとる。一方、ハーフミラー54を透過した光は、被測定レンズ55を透過して、反射鏡56で折り返され、再び被測定レンズを透過した後に、参照光と重なる。

【0006】この方式は、参照光の光路が測定光の光路と重なっており、測定に誤差をおよぼす部品が少ないという利点がある。しかし、参照光と測定光の光路長に差が生ずる。

【0007】トワイマン・グリーン型では、まず、光軸に対して傾けたハーフミラーによって光を2方向に分け、参照光と測定光を作る。参照光は反射鏡で折り返す。測定光は光路中の被測定レンズを通した後、反射鏡で折り返し、再び被測定レンズを通した後に、参照光と干渉させる。トワイマングリーン干渉計は、参照光路長と測定光路長を等しくとることができるが、そのため大型になり、精度が出にくいという欠点があった。また、参照光路と測定光路がまったく別のために、参照光

路中の部品の収差や光路中の空気ゆらぎが測定誤差の原因となるという欠点もあった。

【0008】それゆえ、なるべくフィゾー干渉計を用いるほうが誤差の点で望ましいものとされている。

【0009】ところが、二つの干渉計の選択におよぼす問題の一つとして、測定に用いるレーザ光源のコヒーレンスがある。

【0010】193nmのレーザとして従来用いられてきたArFレーザはコヒーレンスが低いという問題があった。そのため、参照光路長と測定光路長を等しくする必要があった。それゆえ、トワイマングリーン干渉計が必要であり、フィゾー干渉計が使えないという困難があった。

【0011】【従来のArF露光機】ArF露光機においては、色収差を少なくするために、ArFレーザの波長幅を狭帯域化することが求められていた。ところがArFレーザはパルス発振のピークパワーが強いことによる狭帯域化素子の損傷などにより、狭帯域化が困難であった。

【0012】【従来の和周波発生レーザ】2つのレーザ光からの和周波発生を行う方法は、従来、パルスレーザ光で行われてきた。パルスレーザ光では、非線形光学結晶を共振器中に置く必要はなく、前記結晶に2つの波長のレーザ光を同時に透過させれば良かった。しかし、パルス光では長いコヒーレント長を実現することに困難があった。

【0013】また、Liu他（Enquan Liu, F. B. Dunning, and F. K. Tittel, Applied Optics Vol. 21, No. 19, October 1, 1982, pp. 3415-3416）により、第1のレーザの共振器中に、和周波発生のための非線形光学結晶をおくが、第2のレーザ光は、この結晶を1回通過させるだけの構造を持つものが提案された。しかし、この場合には、第2のレーザ光を共振させていないので、非線形結晶の場所での第2のレーザ光の強度が弱く、結果として和周波光の強度が弱かった。

【0014】また、Watanabe他（M. Watanabe, K. Hayaoka, H. Imajo, S. Urabe, Optics Letters, Vol. 17, No. 1, January 1, 1992, pp. 46-48）により、第1のレーザ（波長750nmから810nmを発生するチタン・サファイアレーザ）に共鳴する一つの外部共振器のなかに、非線形光学結晶をおき、第2のレーザ（波長515nmのアルゴンレーザの2倍波の257nm）の光は、この結晶を一回通過させ、194nmの光を発生させる装置も提案された。

この場合、第2のレーザ光が共振されていないので、非線形光学結晶の場所でのその強度が弱く、結果として発生した和周波光の強度も4μW程度と弱いものであった。

【0015】また、二つの連続波レーザ光を一つの外部共振器に同時に入射させて、どちらの波長に対しても同時に共振状態になるように制御し、和周波発生を行う方法が提案されている（Kaneda, Y. and Kubota, S., USA

TOPS on Advanced Solid-State Lasers, 1996, vol. 1, p. 352-355)。この方法では、レーザ1の光に対して外部共振器を同調させる1台のサーボ制御装置と、さらに、レーザ2の光の波長をこの外部共振器に同調させるもう1台の合計2台のサーボ制御装置が必要であり、構成が複雑になるうえに、システムが不安定になる場合があるなどの欠点があった。さらに、外部共振器にレーザ1とレーザ2の光を入射させる際に、結合効率が悪く、内部に入るパワーが減少し、効率が落ちるという欠点があった。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上述した問題点を鑑みてなされたもので、以下のような目的を備える。

【0017】本発明の目的は、時間コヒーレンスおよび空間コヒーレンスの高い、しかも大出力の193nmあるいはその近傍波長のレーザ光を発生する紫外レーザ装置を実現すると共に、当該紫外レーザ装置を光源として用いてレンズ波面収差測定を行うフィゾー干渉計を提供することにある。

【0018】また、本発明の他の目的は、同様な構造によって193nmあるいは213nmの露光機用光源として機能することが可能な紫外レーザ装置を提供することにある。

【0019】また、本発明の他の目的は、和周波発生を利用する紫外レーザ装置において、サーボの段数を1段にとどめながら和周波発生に用いる2つのレーザ光のどちらにも共振する共振器を用意し、該共振器の中に配置された非線形光学結晶に、高強度の2つの波長のレーザビームを供給することで、必要とされるサーボ制御装置の台数を最小にすると共に、システムの簡素化および安定化を図ることができる、大出力の紫外レーザ装置を実現することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明は、和周波発生を行う紫外レーザ装置において、第1のレーザ光を発生させる第1のレーザ光発生源および該第1のレーザ光を共振させる第1の共振器と、第2のレーザ光を発生させる第2のレーザ光発生源および該第2のレーザ光を共振させる第2の共振器とを備え、前記第1および第2の共振器は、一部の光路が共有されるように配置されるものであって、該共有光路中に設置される和周波発生のための非線形光学結晶を備える。

【0021】具体的には、例えば、前記第1のレーザ光発生源として、650nmから1100nmまでの範囲およびその近傍波長のレーザ光を発生するチタン・サファイアレーザを用い、前記第2のレーザ光発生源として、260nm付近のレーザ光を少なくとも発生する希土類イオンを含む固体レーザを用い、前記和周波発生により、180nmから215nm付近のレーザ光を発生させる構成としてもよい。

【0022】さらに、前記チタン・サファイアレーザの波長を707nm付近とし、前記第2のレーザ光としてNd固体レーザを用い、該Nd固体レーザが発する1064nm付近のレーザ光から発生させた4倍波の266nm付近のレーザ光を用い、前記和周波発生によりArFレーザと同じ波長の193nmから194nm付近の連続レーザ光を発生させる構成としてもよい。

【0023】また、前記第1のレーザとして1064nm付近を発生するNd固体レーザを用い、前記第2のレーザとしてNd固体レーザを用い、該Nd固体レーザが発する1064nm付近のレーザ光から発生させた4倍波の266nm付近のレーザ光を用い、前記和周波発生により213nmのレーザ光を発生させる構成としてもよい。

【0024】前記非線形光学結晶としては、 β -BaB₂O₄、Sr₂Be₂B₂O₇またはKBe₂B₃O₆を用いてもよい。

【0025】また、上記目的を達成するために、本発明による紫外レーザ装置においては、波長650nmから1100nmの連続光を循環するチタン・サファイアレーザのリング共振器中に第1の非線形光学結晶を配置し、325nmから550nmのレーザ光を発生させ、前記発生したレーザ光を前記リング共振器外にとりだした後、325nmから550nmの波長の連続光に共鳴し該連続光を循環させる第2の共振器へ入射させ、前記第2の共振器中に置いた第2の非線形光学結晶によって、162nmから225nm付近の連続光を発生させる。

【0026】また、上記目的を達成するために、本発明による紫外レーザ装置においては、波長772nm付近の連続光を循環する、チタン・サファイアレーザのリング共振器中に第1の非線形光学結晶を配置し、386nm付近のレーザ光を発生させ、前記386nm付近の光を前記リング共振器外にとりだした後、386nm付近の波長の連続光に共鳴し該連続光を循環させる第2の共振器へ入射させ、前記第2の共振器中に設けた第2の非線形光学結晶によって、ArFレーザと同じ波長の193nm付近の連続光を発生させる。

【0027】ここで、前記第1の非線形光学結晶としては、LiB₃O₅を用いてもよい。また、前記第2の非線形光学結晶としては、 β -BaB₂O₄、Sr₂Be₂B₂O₇およびKBe₂B₃O₆のうちいずれかを用いてもよい。

【0028】また、本発明による紫外レーザ装置は、被測定レンズの収差測定を行うレンズ収差測定装置のレーザ光源として、あるいは、マスク上に形成された所定のパターンをウエーハに投影するための半導体製造用露光装置のレーザ光源として用いることができる。

【0029】また、上記各発明による紫外レーザ装置において、前記2つのレーザ光のうち一方の波長変化に連動させて、前記和周波発生のための非線形光学結晶の位相整合角を変化させる位相整合角変化手段をさらに備える構成としてもよい。

【0030】さらに、チタン・サファイアレーザの波長

変化に連動して、位相整合角変化手段を制御する場合には、和周波発生されたレーザ光の強度を検出する検出手段をさらに設け、その検出結果に応じて位相整合角変化手段を微調整する構成としてもよい。

【0031】

【発明の実施の形態】

【第1の実施形態】本発明による紫外レーザ装置の第1の実施形態における構成例を図2に示す。

【0032】本実施形態によるレーザ装置は、レーザ光源（以下レーザと略称する）とそれに対応する共振器とを2組設け、これら2つの共振器の光路の一部を共有させ、そこで和周波発生を行わせ、目的とする波長のレーザを発生させるものである。

【0033】図2において、23は、500nm付近の連続光を発生する出力5W程度のレーザ（第1のレーザ）であり、チタン・サファイア結晶25を励起することに用いられる。このレーザとしては、Nd:YVO4レーザの2倍波の532nmのレーザを用いても良いし、515nm、488nmを発生するアルゴンイオンレーザを用いても良い。励起用の500nm付近の光はチタン・サファイア結晶で吸収される。チタン・サファイア結晶から発生する707nmの連続光は、4枚の平面または曲面の反射鏡242、243、244、241からなるリングレーザ共振器24（第1の共振器）に共振して、高強度の707nm光を共振器中に存在させる。この共振器24中を循環する707nm光のパワーは30W程度になる。

【0034】ここで、241、242、243、244は波長707nm光に対して高反射（反射率99.9%以上）である反射鏡である。さらに、241は励起光の500nm付近に対して高透過（透過率95%以上）であり、244は、193nm光に対して十分な透過率（透過率80%以上）を有するものとする。

【0035】なお、リングレーザ共振器24中の光路中には、光の進行方向を本図の矢印の方向の1方向（242-243-244-241の順）に限定するための、図不示の光ダイオードを挿入してある。同様に、リング共振器の共振波長を選択する複屈折フィルターと、縦モードを1つに選択するエタロンも挿入してある（図不示）。

【0036】一方、21は波長266nmの連続光を発生するレーザ（第2のレーザ）である。ここでは、Nd:YVO4レーザの発生する1064nm光の4倍高調波レーザを用いている。そのパワーは1Wである。266nmのレーザ光は、4枚の反射鏡221、222、223、224からなる266nmの共振器22（第2の共振器）に入射する。ここで、221は266nm光に対して98%の反射率を有する部分透過鏡で、222、223、224は、266nm光に対して高反射（反射率99.9%以上）である。さらに、223と224は、707nm光に対しては高透過（透過率99.7%以上）である反射鏡である。また、224は193nm光に対しても十分な透過率（透過率80%以上）を有する反射鏡である。

【0037】この和周波光を発生する共振器22の反射

鏡223と反射鏡224との間の光路は、チタンサファイアレーザ共振器24と光路を共有している。

【0038】和周波光を発生する共振器22は、レーザ21の発する266nmのレーザ光に共振するように、共振器長をサーボ制御されている（図不示の機構による）。サーボ制御機構としては、FMサイドバンド法（バウンド・ドレーバー法）と呼ばれる方法を用いる。共振器長の制御は、一個または複数の反射鏡の位置をアクチュエータによって変える方法や、非線形光学結晶26の電気光学効果を用いる方法等がある。なお、もう一方の共振器24においては、サーボ制御を必要としない。

【0039】この共振器22の内部には266nmの光が共振することによって、高強度の266nm光が存在する。共振器22中を循環する266nmのパワーは、50W程度と推定される。

【0040】従って、反射鏡223から224の間には、高強度（30W）の707nm光と、高強度（50W）の266nm光が同軸で存在することになる。

【0041】本実施形態においては、共振器22、24の共有光路となる反射鏡223と224との間に、和周波発生のための非線形光学結晶BBO（ β -BaB₂O₄）が配置されている。BBOのカット方向は、光軸が結晶軸を基準とした座標において約 $\theta=76^\circ$ である。これは707nm光と266nm光の和周波発生を行い、193nm光を発生することに位相整合する角度である。また、BBOの入射・射出の両端面には、707nm光と266nm光に対して反射防止コートがなされている。さらに、このコートは射出端面は193nm光に対して十分大きな透過率を持つという条件も満たす。

【0042】BBOでの和周波発生出力 P_{193} は707nmのパワーを P_{707} 、266nmのパワーを P_{266} とすると、

$$P_{193} = \eta P_{707} P_{266}$$

で与えられる。ここで、 η はビーム径や結晶の長さによって与えられる変換効率で $\eta=5 \times 10^{-5} \text{ W}^{-1}$ 程度の値を取る。今回の場合は、 $P_{707}=30\text{W}$ 、 $P_{266}=50\text{W}$ であるので、 $P_{193}=0.075\text{W}=75\text{mW}$ の193nmの光がBBO結晶で発生すると見込まれる。この193nm光は、224と244の2枚の反射鏡を透過する際に、その透過率（ともに80%以上）の影響を受け、最終的には50mW程度の193nm出力27を得ることになる。

【0043】ここで、266nm光を発生するレーザとして、Nd:YAGレーザの4倍波ではなく、Nd:YVO4レーザの4倍波でも良い。ただし、Nd:YLFレーザの1047nm光を用いる場合には、4倍波が261.8nm光となるので、チタン・サファイアレーザの共振波長を740nmに変更し、最終的な和周波として193nm光を得る。

【0044】また、和周波発生のための非線形光学結晶として、ここではBBO（ β -BaB₂O₄）を用いた場合の例を説明したが、その代わりに、Sr₂Be₂B₂O₇やKBe₂B₃O₂を用いてもよい。これらの結晶のほうが、193nmでの光

の吸収が小さいので高出力が見込まれ、また損傷も少ない。

【0045】[第2の実施形態]本発明による紫外レーザ装置の第2の実施形態における構成例を、図1に掲げる。本実施形態においても、上記第1の実施形態と基本原理は同じであるが、レーザおよび共振器の配置が異なる。

【0046】図1において、レーザ13はチタン・サファイアレーザを励起するレーザであり、上記図2の23と同じものである。

【0047】また、レーザ媒体であるチタン・サファイア15は、25と同じである。

【0048】チタン・サファイアレーザの共振器14は、141, 142, 143, 123の4枚の平面または曲面の反射鏡で構成される。本実施形態では、123の反射鏡を後述する266nmの共振器12と共有している。ここで、141, 142, 143の反射鏡は241, 242, 243と同性能である。123の反射鏡は、708nm光と266nm光に対して、どちらも高反射（反射率99.9%以上）であり、193nmの光を十分に透過する（透過率80%以上）ものである。

【0049】また、上記第1の実施形態と同様に、図不示の光ダイオードと複屈折フィルター、エタロンが共振器中に組み込まれている。このため、上記第1の実施形態と同じ様に、共振器14の中には、約30Wの707nmの光が循環すると見込まれる。

【0050】第2のレーザ11は上記第1の実施形態のレーザ21と同じで、266nmの連続光（パワー1W）を発生する。

【0051】第2の共振器として機能する266nmの共振器12は、121, 122, 123, 124の4枚の平面または曲面の反射鏡で構成される。レーザ光の入射する121の反射鏡は、上記図2の反射鏡221と同様のものである。反射鏡122と124は、266nm光に対しては高反射（反射率99.9%以上）であるが、707nm光に対しては高透過（透過率99.7%以上）である。反射鏡123は、前述したように、707nmの共振器14と266nmの共振器12で共有している。

【0052】上記第1の実施形態と同じ様に、共振器12には、入射される266nmのレーザ光に同調するように、FMサイドバンド法によるサーボ制御がかけられている。共振器12の中には約50Wの266nmの光が循環すると見込まれる。

【0053】707nmの共振器14と266nmの共振器12とでは、反射鏡122から123までと、反射鏡123から124までが共有される光路となる。

【0054】本実施形態では、この反射鏡122から123までの光路中に、和周波発生用の非線形光学結晶BBO（図中16）が配置されている。非線形光学結晶16は、上記図2の26と同じものであり、上記第1の実施形態と同様に、 $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ や $\text{KBe}_2\text{B}_3\text{O}_6$ を代わりに用いることもできる。

【0055】本実施形態においても、上記第1の実施形態と同様に、和周波発生による193nmのパワーとして、7.5mW程度の発生が予想される。そのレーザ光が、反射鏡123を透過する際に、透過率（80%以上）の影響を受けて、約60mWの193nm出力17が発生されることになる。

【0056】[第3の実施形態]本発明による紫外レーザ装置の第3の実施形態における構成例を図3に示す。

【0057】本実施形態は、上記第2の実施形態のチタン・サファイアレーザ（波長707nm）を、Nd:YAGレーザ（波長1064nm）に置き換えたものである。それに伴い、レーザ結晶がチタン・サファイア結晶15から、Nd:YAG結晶35に置き換えられている。最終的に得られる波長も213nmとなる。

【0058】また、上記第2の実施形態の励起用のレーザが500nm付近のレーザ光を発生するレーザ13の代わりに、808nm付近のレーザ光を発生するレーザダイオードアレイ331, 332が用いられている。その出力はレーザダイオードアレイ331と332の合計で20Wである。励起方式もエンドポンプ式からサイドポンプ式になっている。これによって、共振器34の内部を循環する1064nmのパワーは200W程度になる。

【0059】上記第2の実施形態と同様に、共振器34の内部には、光の循環方向を一方に限定する図不示の光ダイオードと複屈折フィルターとエタロンが設置されている。なお、Nd:YAGの発振波長幅が狭いので、複屈折フィルターは省くこともできる。

【0060】本実施形態におけるすべての反射鏡の性能は、上記第2の実施形態において対応する反射鏡の707nm光における反射率、透過率の性能を、1064nm光における反射率、透過率としたものである。266nm光に対する性能は変わらない。

【0061】266nmの共振器32の機能は、上記第2の実施形態の共振器22と同じである。

【0062】和周波発生を行うBBO結晶のカット方向は、光軸が結晶軸を基準とした座標において約 $\theta = 51^\circ$ である。これは1064nm光と266nm光の和周波発生を行い、213nm光を発生することに位相整合する角度である。

【0063】BBOでの和周波発生出力 P_{213} は、1064nmのパワーを P_{1064} 、266nmのパワーを P_{266} とすると、

$$P_{213} = \eta P_{1064} P_{266}$$

で与えられる。ここで、 η はビーム径や結晶の長さによって与えられる変換効率で $\eta = 1 \times 10^{-4} \text{W}^{-1}$ 程度の値を取る。今回の場合は、 $P_{1064} = 200 \text{W}$ 、 $P_{266} = 50 \text{W}$ であるので、 $P_{213} = 1 \text{W} = 1000 \text{mW}$ の213nmの光がBBO結晶で発生すると見込まれる。この213nm光は323の反射鏡を透過する際に、その透過率（80%以上）の影響を受け、最終的には800 mW程度の213nm出力37を得ることになる。

【0064】[第4の実施形態]本発明による紫外レーザ装置の第4の実施形態の構成例を図4に示す。

【0065】本実施形態では、1つの連続波発生レーザとSBB0結晶とを利用して、193nm付近およびそれよりも短波長の光を、より簡単な構成で発生する紫外レーザ装置を提供する。

【0066】本図において、41は波長500nm付近のレーザ光を発生する励起レーザであり、チタン・サファイア結晶43を励起する。励起レーザ41の出力は5Wである。このレーザは、アルゴンイオンレーザでも良いし、Nd:YAGレーザの2倍波(532nm)や、Nd:YVO4レーザの2倍波(532nm)でもよい。

【0067】4枚の平面または曲面の反射鏡421, 422, 423, 424からなるリング共振器42は、チタン・サファイア結晶の発生する772nmの光を共振させ、強いパワーの772nmの光を内部に循環させる。反射鏡421, 422, 423, 424は772nmの光に対しては高反射(反射率99.9%以上)である。このうち反射鏡421は、その条件に加えて、波長500nm付近の励起光を高透過(透過率95%以上)させる。また、反射鏡423は、波長386nmの光に対して90%以上の透過率を持つ。このレーザ共振器42の内部を循環する772nmの光のパワーは50Wと推測される。

【0068】共振器42は、上記各実施形態と同様に、図不示の光ダイオードと複屈折フィルター、エタロンを含んでおり、光の循環方向を一方向に限定するほか、発振波長の選択と、縦モードの選択を行っている。

【0069】共振器42中におかれた2倍波発生用の非線形光学結晶LiBO(LiB₃O₅) (図中44)によって、772nmの光は、386nmの光に変換される。変換されて出力された光のパワーは250mWと推測される。

【0070】この386nm光は、反射鏡424を透過し共振器45に入射する。共振器45は、この386nm光に同調するように、図不示のサーボ制御回路で制御されるものとする。制御方法にはFMサイドバンド法を用いる。

【0071】共振器45は、4枚の平面または曲面の反射鏡451, 452, 453, 454で構成される。451は386nmの光に対して約99%の反射率と約1%の透過率を持つ部分反射鏡で、452, 453, 454は386nmの光に対して高反射(反射率99.9%以上)の反射鏡である。さらに、反射鏡454は193nmの光に対して80%以上の透過率を持つ。共振器45中では、386nm光が循環し、そのパワーは25W程度になると推測される。

【0072】本実施形態では、この共振器45中に、2倍波発生用のSr₂Be₂B₇O₇結晶46が設置されており、386nm光から193nm光を発生させる。発生されたレーザ光は、もとの772nm光から考えると4倍波である。この4倍波のパワーは50mW程度と予想される。この193nmの光は、透過率80%以上の反射鏡454を透過して、40mW程度の193nmの光47として、外部に取り出される。

【0073】ここで、Sr₂Be₂B₇O₇結晶の代わりに、KBe₂B₃O₆結晶を用いる構成としてもよい。β-BaB₂O₄結晶は2倍波発生形式では、205nmより短い波長の変換には

使えないので193nmの発生はできない。しかし、本実施形態で、β-BaB₂O₄結晶を用いた場合には、205nmより長い波長の発生が可能となる。

【0074】[第5の実施形態] 本発明の第5の実施形態として、上記第1から第4の実施形態のいずれかによる紫外レーザ装置を光源として用いた、露光機のレンズ収差測定用のフィゾー干渉計の構成例を、図5を参照して説明する。

【0075】上記実施形態のいずれかによる紫外レーザ装置を利用した光源であるレーザ51からでた光は、ビームエキスパンダ52により、ビーム径を拡大され、そののち、ハーフミラー53によって下方に折り曲げられる。

【0076】ビーム光の一部は、参照面となるハーフミラー54によって反射され、上方に戻り、ハーフミラー53を透過し、参照光として観察用カメラ57に入射する。

【0077】一方、参照面ミラー54を透過した光は被測定レンズ55を透過したのち、反射鏡56によって折り返され、再び被測定レンズ55を透過した後、参照面ミラー54、ハーフミラー53を透過して、測定光として観察用カメラ57に入射する。

【0078】カメラの撮像面上で、上述した参照光と測定光とから、被測定レンズの収差が測定される。収差測定をする際には、例えば、参照光路の光路長を1波長程度変化させて、干渉縞の変化を観察する方法を採ることがしばしば行われる。

【0079】本実施形態によれば、時間コヒーレンスおよび空間コヒーレンスの高い、しかも大出力の193nm光等を発生する紫外レーザ装置を光源として用いた、フィゾー干渉計を提供することができる。

【0080】[第6の実施形態] 図6は、上述した本発明の各実施の形態のレーザ光源を用いた投影露光装置の概略構成図である。

【0081】図6に示した投影露光装置は、先に説明した第1~4の実施の形態である紫外レーザ装置を用いたレーザ光源61と、レーザ光源61から射出された光を拡散させるための回転拡散板62と、レーザ光源61からの光を下方のフライアイレンズ(またはインテグレートレンズ)65に照射させるための反射板64と、フライアイレンズ65と、照明レンズ系66と、露光パターンが描画されたマスク67を設置するためのマスク支持部671と、マスク67に描画されたパターンを半導体基板(またはウェハー)691上に結像させるための対物レンズ68と、基板691を載置するための移動ステージ692とを備えている。そして、回転拡散板62は、図示されていない拡散板回転装置によって回転することができる。また、移動ステージ692は、移動ステージ692を支持する移動ステージ支持部693と、移動ステージを駆動するためのステージ駆動部695と、

ステージ駆動部695で発生した動力を移動ステージ支持部693に伝達するための伝達部材694とによって、移動可能となっている。

【0082】この投影露光装置では、レーザ光源61からでたビームを回転拡散板62に当て、ビームを拡散する。拡散板が回転移動し、拡散板上のビーム位置が変化することにより、拡散された光の強度分布や位相分布が変化する。これによってマスクパターンを照射時に生ずるスペックルを常時変化させて、露光時間中に平均化させることによってスペックルによる悪影響（照度ムラ）を除去する。この拡散板は、スペックル除去を完全にするために2枚にすることもできる。その場合、一方は固定拡散板にしても良い。両方を異なる方向に動かしてもよい。

【0083】この拡散光をレンズ63でほぼ並行ビームの状態にしてから、フライアイレンズ65に入射する。フライアイレンズ65では、ビームの強度の均一化が行われ、複数のレンズよりなる照明レンズ系66によってマスク（またはレチクル）67を照明する。

【0084】照明されたマスク67上の回路パターンは、投影レンズ68によって半導体基板（またはウェハー）691に所定の倍率（1倍～1/5倍）で縮小投影される。基板691は移動ステージ692上に置かれており、ステージの移動によってステップ・アンド・リピートや、マスク支持部671にマスク67を移動させるための移動機構を設けることで、マスクとの同期した移動によってスキャン露光が行われる。

【0085】本発明のレーザ光源は、193nmや213nmの連続波の紫外光を発生するために、エキシマレーザの場合に問題となっていた、強いパルスによって生ずる照明レンズ系や投影レンズの光損傷を避けることができる。

【0086】また、エキシマレーザでは必要であったガス交換やウィンドウ交換が必要なくなるために、半導体製造におけるスループットを向上させることができる。

【0087】〔第7の実施形態〕上述した第1、第2および第4の実施形態によるレーザ装置は、チタン・サファイアレーザを用いている。チタン・サファイアレーザは、650nmから1100nmの範囲内で1波長を発振させる。そのためにレーザ共振器中に複屈折フィルターを挿入し、その回転角度を制御することで波長選択を行う。

【0088】チタン・サファイアレーザの発振波長を変化させた場合、和周波発生用の結晶16や26、あるいは高調波発生のための波長変換結晶44、46は、光軸に対する入射角をかえて、位相整合条件を保つ必要がある。また、この位相整合角は、結晶に入射する光の波長と、発生させる光の波長が決まると定まる。

【0089】本実施形態では、波長選択のための複屈折フィルターの回転角を検出し、その角度に応じて、波長変換結晶の角度を位相整合のために制御する。本実施形

態の構成例を図7、図8を参照して説明する。

【0090】図7では、図1で示される第2の実施形態のチタン・サファイアレーザに、本実施形態を適用している。共振器中に挿入された複屈折フィルター71は、それを回転軸のまわりに回転させることでレーザ発振の波長を選択する。

【0091】さらに、エンコーダ72によってこの複屈折フィルター71の回転角を読みとり、その値によってコントローラ73が、レーザの発振波長を求め、この求めた発振波長に対して最適な波長変換結晶（BBOまたは $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ ）の角度を算出し、回転ステージ74上におかれた波長変換結晶16の角度を制御して、和周波光（193nm）のパワーを最大にする。

【0092】ここで、複屈折フィルターの回転角は、望みの波長になるように手動で制御させても、コントローラ73からアクチュエーター（図不示）によって動かしてもよい。

【0093】また、この共振器中の光路には図不示のエタロンと光ダイオードが挿入されており、エタロンによって発振の縦モードを1本に制限し、光ダイオードによって光の伝搬方向を1方向に制限している。

【0094】また、出力光17の一部をビームスプリッター75で分岐させて、該分岐光の光強度を検出器76で電気信号に変え、和周波光（193nm）の出力をモニターさせ、その出力が最大になるように、コントローラ73を通して波長変換結晶16の載った回転ステージ74の微調整を行うよう構成してもよい。

【0095】また、図8に示すように、上記図4で示される第4の実施形態のチタン・サファイアレーザ部分42に、本実施形態を適用してもよい。ここで、複屈折フィルター71、エンコーダ72、コントローラ73、回転ステージ74等は、図7と同一である。

【0096】図8の構成例では、波長変換結晶44はLiBOであり、チタン・サファイア結晶43の発生する772nm付近の光を386nm付近の光に変換している。それに応じて、ビームスプリッター75と検出器76は、386nmに適したものを選択するものとする。なお、ここでも上記図7と同様に、図不示のエタロンと光ダイオードが挿入されている。

【0097】同様に、193nm付近の光を発生する結晶46の角度をコントローラ73から調整することも可能である。

【0098】

【発明の効果】本発明によれば、コヒーレンスが高い、高出力の193nmの連続波レーザを発生することができる紫外レーザ装置が実現されると共に、該紫外レーザ装置をフィゾー干渉計の光源として用いることにより、193nmにおける波面収差測定が容易になる。また、同様に、213nmにおける波面収差測定も容易になる。

【0099】さらに、本発明によれば、193nm、213nmの

露光機用光源として利用できる紫外レーザ装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第2の実施形態の構造例を表す説明図である。

【図2】 本発明の第1の実施形態の構造例を表す説明図である。

【図3】 本発明の第3の実施形態の構造例を表す説明図である。

【図4】 本発明の第4の実施形態の構造例を表す説明図である。

【図5】 本発明の第5の実施形態の構造例を表す説明図である。

【図6】 本発明の第6の実施形態の構造例を表す説明図である。

【図7】 本発明の第7の実施形態の構造例を表す説明図である。

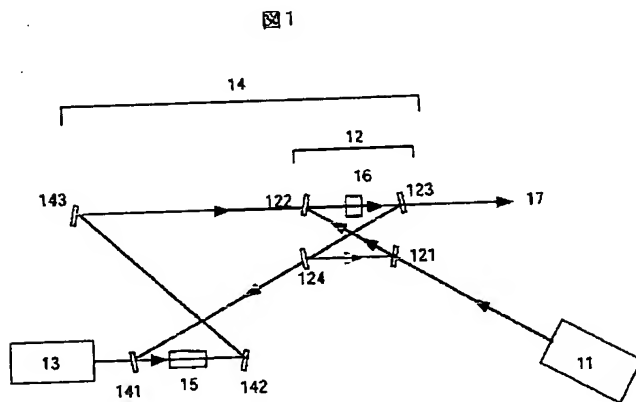
【図8】 本発明の第7の実施形態の他の構造例を表す説明図である。

【符号の説明】

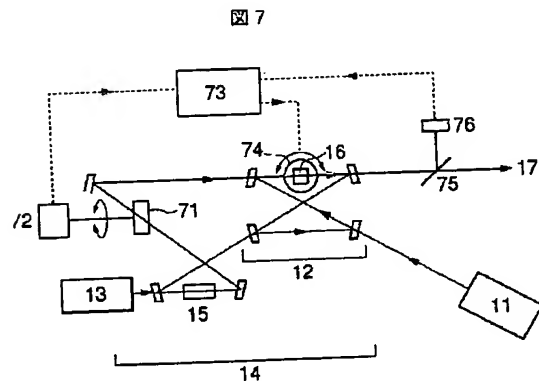
11：266nmレーザ
12：266nm共振器
121、122、123、124：反射鏡
13：チタン・サファイアレーザ励起用レーザ
14：チタン・サファイアレーザ（波長707nm）共振器
141、142、143：反射鏡
15：チタン・サファイア結晶
16：非線形光学結晶（BBO）
17：193nm光
21：266nmレーザ
22：266nm共振器
221、222、223、224：反射鏡

23：チタン・サファイアレーザ励起用レーザ
24：チタン・サファイアレーザ（波長707nm）共振器
241、242、243、244：反射鏡
25：チタン・サファイア結晶
26：非線形光学結晶（BBO）
27：193nm光
31：266nmレーザ
32：266nm共振器
321、322、323、324：反射鏡
331、332：Nd：YAGレーザ励起用レーザダイオードアレイ
34：Nd：YAGレーザ（波長1064nm）共振器
341、342、343：反射鏡
35：Nd：YAG結晶
36：非線形光学結晶（BBO）
37：213nm光
41：チタン・サファイアレーザ励起用レーザ
42：チタン・サファイアレーザ（波長772nm）共振器
421、422、423、424：反射鏡
43：チタン・サファイア結晶
44：非線形光学結晶（LBO）
45：386nm共振器
451、452、453、454：反射鏡
46：非線形光学結晶（ $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ ）
51：193nm連続波レーザ
52：ビームエキスパンダ
53：ハーフミラー
54：参照面用ハーフミラー
55：被測定レンズ
56：反射鏡
57：カメラ

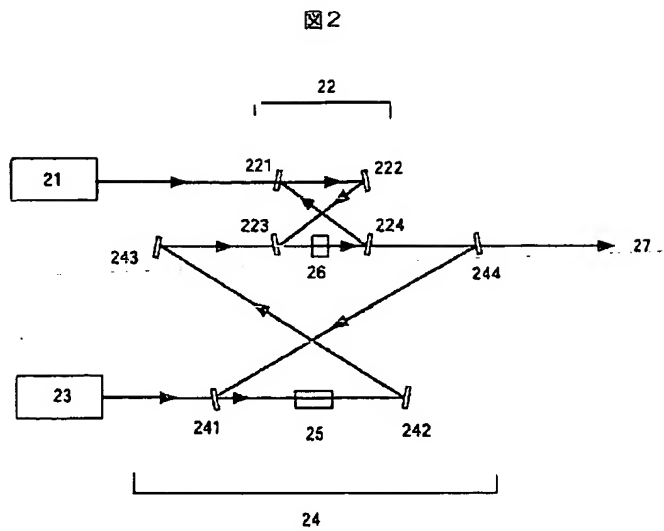
【図1】



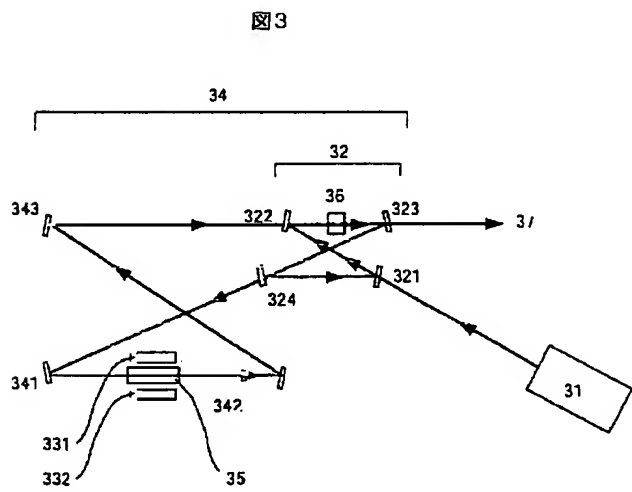
【図7】



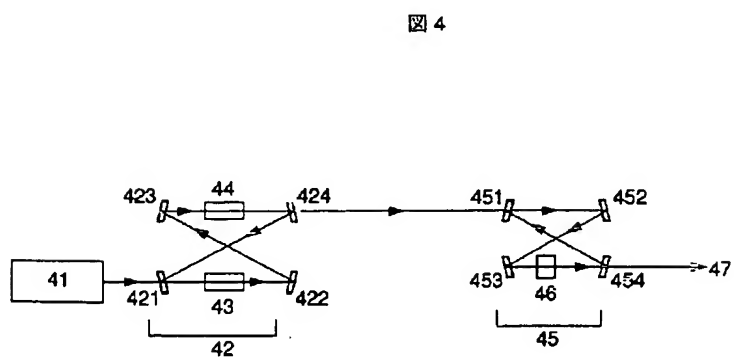
【図2】



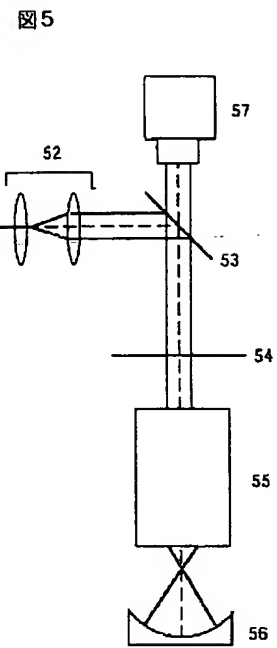
【図3】



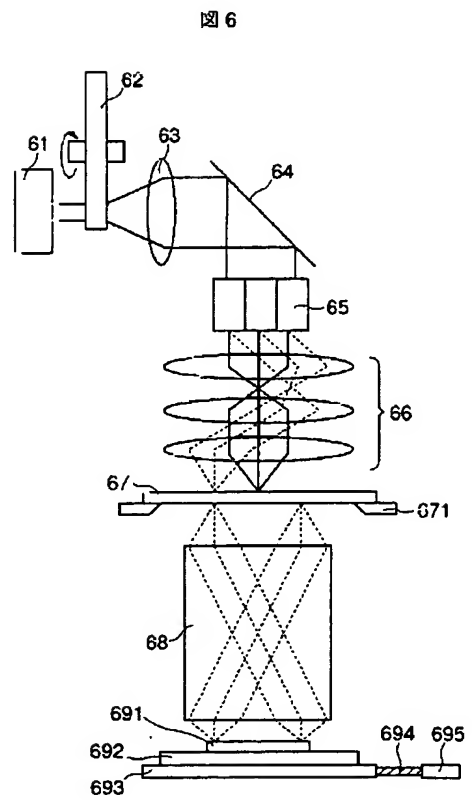
【図4】



【図5】



【図6】



【図8】

図8

